

Title	Dynamical properties of baryon resonances in the holographic QCD
Author(s)	藤井, 大輔
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92156
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (藤井 大輔)

論文題名

Dynamical properties of baryon resonances in the holographic QCD
(ホログラフィックQCDによるバリオン共鳴の動的性質の研究)

論文内容の要旨

目に見える物質の99%以上を占めるバリオンは、QCD真空が生み出す基礎励起であるが、低エネルギーにおけるQCDの非摂動的な性質のために、我々は核子が安定して存在する理由すら理解していない。低エネルギーQCDを理解するためには、核子などを励起させて、バリオン共鳴を調べることが有効である。

本博士論文では、ホログラフィックQCD模型の一つである酒井・杉本模型を用いて、バリオン共鳴の諸性質を研究した。ローパー共鳴は実験的に最も確立された核子共鳴の一つであるにもかかわらず、その様々な性質を理論的に説明することは困難である。我々は、酒井・杉本模型から得られる質量公式が、ローパー共鳴の実験データの特徴をよく捉えていることに動機付けられて、ローパー共鳴の他の性質、特に電磁遷移振幅と1パイオン放出の崩壊幅の計算を試みた。また、他の核子共鳴 ($\Delta(1232)$, $N^*(1535)$) についても同様の解析を試みた。

そのためには、酒井・杉本模型におけるバリオンの波動関数とカイラルカレントを求める必要がある。ホログラフィックQCD模型では、バリオンはD-ブレーンとして現れる。特に、酒井・杉本模型では、このD-ブレーンはD8ブレーン上のインスタントンと同定される。そこで、このインスタントンのmoduli空間における運動を考え、それを量子化してバリオンの波動関数を求める。これはソリトンの解析で従来から使われている方法で、集団座標量子化と呼ばれる。その後、酒井・杉本模型においてカイラル対称性のネーターカレントとして定義されたカレントを用いて、電磁遷移を計算し実験データと比較した。その結果、クォーク模型による問題点を改善することができた。この結果によって核子共鳴の包括的な理解のためには、メソンの集団運動の寄与が重要であることが強く示唆された。一方、カイラルカレントの定義にはいくつかの問題があるため、その問題点を指摘した。また、最近、重いバリオンでローパー共鳴的な励起が見つかっている。そこで、これらの解析のために、酒井・杉本模型を重いフレーバーに拡張する方法についても議論した。

我々は、バリオン共鳴などのQCD真空が生み出す励起を調べることによって、それらを通して実験的・理論的にQCDの性質の理解を深めることができる。最近では、核子内に働く応力分布が実験的に求められていて、我々の方法で、核子共鳴の応力分布を求めることが可能である。応力分布とは、まさにバリオンを安定化させるバリオン内部の力の分布であり、QCDのより重要な性質（カイラル対称性の破れや閉じ込め）の解明が期待される。本研究はそのような一連の研究の第一歩であり、今後の様々な研究を通して、QCDのさらなる理解のための一助となることが期待される。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (藤 井 大 輔)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 保坂 淳
	副 査	教授 浅川 正之
	副 査	教授 野海 博之
	副 査	教授 西岡 辰磨
	副 査	准教授 石井 理修

論文審査の結果の要旨

目に見える物質の 99%以上を占めるバリオンは、QCD 真空が生み出す素励起であるが、低エネルギーにおける非摂動的な性質のために、核子の安定性など基本的な性質に関しても十分な理解に達していない。その理解を進めるためには、基底状態に加えて共鳴状態の性質を調べることが有効である。

藤井氏は本博士論文で、低エネルギーQCD の有効理論として近年注目されてきた、ホログラフィック QCD 模型の一つである酒井・杉本模型を用いて、バリオン共鳴の諸性質を研究した。中でも実験的に最も確立されているにもかかわらず、その諸性質を説明することが困難な状態として、ローパー共鳴と呼ばれる状態が存在する。藤井氏は、酒井・杉本模型が、この状態の共鳴エネルギー（質量）をよく説明することに着目し、質量などの静的な性質のみならず、動的な性質である電磁遷移と 1 パイオン放出を伴う崩壊幅を解析した。

そのためにまず、酒井・杉本模型の標準的な方法に従って、4 次元時空を拡張した 5 次元空間で定義される、フレーバーゲージ場の理論が有するインスタントン解の集団量子化によってバリオン状態を構築した。従来標準的とされるクォーク模型にはない、バリオンを取り巻くメソン雲の効果を最大限取り込んだ状態である。その後、カイラル対称性のネーターカレントとして定義されたカレントを導き、ローパー共鳴から核子への電磁遷移を計算し実験データと比較した。その結果、標準的なクォーク模型では長年説明が困難だった問題点を改善することに成功した。この結果によってバリオンの包括的な理解のためには、メソンの雲による集団運動の役割が重要であることを指摘した。この結果は藤井氏を筆頭著者とする論文、Phys. Rev. D 106 (2022) 1, 014010 に出版された。

本博士論文で藤井氏は、ローパー共鳴のほか、他の核子共鳴 ($\Delta(1232)$, $N(1535)$) についても同様の解析を行い、実験データを再現することに成功した。さらにチャームクォークを含む重いバリオンの性質も調べ、データとの一致をみいだした。

このように、藤井氏は、これまで説明困難であったバリオンの諸性質が、ホログラフィック QCD の手法によって解決できることを見出し、その物理的な意味も与えた。これらの成果は、ハドロン物理における重要な貢献である。以上のことから、本論文は博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認める。